

Currícula essenciais de Física

J.M.B. Lopes dos Santos*

10 de Outubro de 2005

Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto,
4169-007 Porto

Education is not filling a bucket, but lighting a fire.

W.B. Yeats

1 Introdução

Quando o Professor Dias Urbano me convidou para fazer esta comunicação, tive o cuidado de referir que não poderia fazer mais que oferecer um ponto de vista pessoal, baseado na minha própria experiência de muitos anos como professor universitário e, mais recentemente, como coordenador de um projecto de intervenção no ensino da Física no secundário [1].

Usando uma metáfora culinária, as reflexões que aqui apresento são como um tempero para um prato que retira todo o seu interesse de múltiplas, variadas e, espero, discordantes contribuições. Que ninguém tome o tempero pelo prato; todavia, se estou aqui, é por que creio que este tempero é necessário.

O título desta comunicação evoca, imediatamente, a pergunta:

O que é que eles (os alunos) têm que saber de Física ao entrar nos nossos cursos?

*e-mail: jlsantos@fc.up.pt

Tive dois professores de Físico-Químicas diferentes nos dois últimos anos do secundário. Por razões que não interessa dissecar, posso garantir que, em Outubro de 1973, ao começar o primeiro ano da Faculdade, nem sequer me lembrava dos assuntos sobre que versara o último ano do secundário em Físico-Químicas, embora tivesse uma memória vívida do ano anterior a esse. Esse lapso não me causou nenhum problema no meu percurso académico. A experiência posterior nunca alterou, antes confirmou, a convicção de que a pergunta essencial não é a que o título evoca, mas sim:

O que é que eles (os alunos) têm que **ser**, ao entrar nos nossos cursos?

Se eu estivesse na audiência e ouvisse esta afirmação, imediatamente pensaria, como muitos dos presentes: “Aí vêm uma arenga sobre a importância das competências relativamente aos saberes concretos, seguida de propostas vagas, como a importância do espírito crítico, da atitude investigativa, da consciência do contexto social da actividade científica, do ensino centrado no aluno, etc., propostas tão vazias de consequências concretas, que no fim vamos todos para casa exactamente como viemos!”

Tentarei evitar este tipo de discurso (no fim julgarão se o consegui) ilustrando os meus argumentos com exemplos das escolhas que temos vindo a fazer no âmbito do projecto de intervenção no ensino secundário que referi acima, o projecto Faraday.

Seja como for, a mensagem principal desta intervenção é a seguinte.

Tal como só é possível preparar-se para correr correndo, só é possível o desenvolvimento e a formação através do estudo sério, comprometido e exigente de matérias concretas. Todavia, no fim de um programa de treino é muito mais importante saber quanto se é capaz de correr no futuro, do que quanto se correu no passado. Também no fim de uma etapa de formação como a do secundário, o mais importante é saber o que cada um é capaz de aprender. Isto é verdade mesmo no caso de jovens para quem o secundário é a última etapa de formação escolar.

Na selecção de conteúdos temos que ter em atenção o seu potencial formador (que é essencialmente um potencial **transformador**) em articulação com os métodos e estratégias que melhor podem promover a desejada transformação de atitude, de postura na abordagem de problemas, de acutilância crítica, de auto confiança, de sentido quantitativo, etc. Estas qualidades significam também mais conhecimento, ou melhor, conhecimento mais sólido, melhor estruturado, pois não podem ser promovidas senão perante conteúdos concretos.

■ O Projecto Faraday ■

Este projecto, financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian, envolve o Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e cinco escolas secundárias da área do Grande Porto. Foi acompanhada a leccionação de Física de nove turmas dessas escolas durante o 10º e 11º ano. Decorre, neste momento, com cinco turmas, a leccionação do 12º ano de Física.

Os materiais do projecto estão disponíveis no portal <http://www.fc.up.pt/faraday>.

Caixa 1.1: O projecto Faraday

2 Requisitos técnicos (matemáticos) e linguísticos

Os alunos do Projecto Faraday são constantemente induzidos a tentar formular ou a seguir argumentos e raciocínios típicos da Física; quase sempre em relação ou com experiências no contexto laboratorial ou com observações da vida corrente. Ao nível do secundário existem certas competências linguísticas e de carácter matemático que são constantemente postas em jogo nesta actividade. Neste contexto parece-me útil referir algumas, sem querer ser exaustivo.

2.1 Competências linguísticas

Deixem-me citar uma observação de um aluno relativamente aos textos do projecto Faraday:

...O manual é complexo, devia ter resumos, tópicos, objetivos...

Independentemente das deficiências que estes textos realmente têm, o que é facto é que há pouca disponibilidade mental de muitos alunos do secundário para uma leitura que requeira mais do que um quadro de títulos para obtenção de informação.

Por outro lado, creio não errar ao afirmar que uma parte importante dos alunos do secundário, têm dificuldades em apreender a estrutura de um argumento: o que são hipóteses, o que são conclusões, deduzidas das hipóteses, o que são observações confrontadas com as conclusões, etc. Se um argumento se prolonga por mais do que meia-dúzia de linhas, o resultado para muitos é confusão e uma enorme vontade de resumir tudo numa definição, numa fórmula, ou num procedimento

algorítmico. Todavia, é preciso dizer que embora esta reacção seja comum, não é, de modo nenhum, geral.

Em casos mais graves, eu diria que chega a existir um problema de tamanho de “buffer”. Já encontrei situações em que, claramente, jovens de 14, 15 anos tinham dificuldade em manter a concentração entre as premissas e as conclusões de um dado argumento ou linha de raciocínio, separadas de poucas linhas.

Embora haja seguramente gente muito mais qualificada para avaliar estas questões de competências linguísticas, não quis deixar de as trazer a esta discussão, pois creio que estão na raiz de casos de insucesso escolar no contexto universitário tão graves, que quase nos parecem inexplicáveis.

2.2 Competências matemáticas

A seguinte lista resulta de um folhear, não sistemático, dos textos do Projecto Faraday, procurando identificar competências que são frequentemente postas em jogo.

Cálculo mental simples: multiplicação e divisão por 2, 10 . . . Poderia juntar aqui divisão por 1! No ensino básico encontram-se muitos alunos que demoram a reconhecer que $5/1 = 5$.

Ordens de grandeza, manipulação de potências. Recordo-me de um anúncio recente em que se afirmava que uma carrinha comercial podia transportar um milhão de ovos (cerca de 50 toneladas!). Quantos dos nossos estudantes apanhariam este óbvio exagero?

Verificação de homogeneidade dimensional (unidades).

Raciocínios de escala e comportamentos assintóticos. Neste tópico estamos a referir-nos a conhecimentos do tipo,

$$\begin{aligned}x &\ll x^2 && \text{se } x \rightarrow \infty, \\x &\gg x^2 && \text{se } x \rightarrow 0,\end{aligned}$$

ou

Se $ax = b$, como varia x se a ou b crescem?

Se duplicarmos x como varia ax^2 ?

■ Pergunta de um teste diagnóstico ■

1. Uma viatura desloca-se, na estrada, com uma energia cinética (energia de movimento) de $1,4 \times 10^5 \text{ J}$. Uma segunda viatura tem metade da massa da primeira e o dobro da velocidade. A energia cinética da segunda viatura é:

- 1. Igual à da primeira.
- 2. $0,7 \times 10^5 \text{ J}$
- 3. $2,8 \times 10^5 \text{ J}$
- 4. $5,6 \times 10^5 \text{ J}$
- 5. Nenhuma das anteriores.

Caixa 2.1: Só cerca de 50 % dos alunos de 13 turmas do 10º ano souberam responder a esta pergunta antes e depois da leccionação de Física.

Como ilustração de algumas destas dificuldades, note-se que cerca de metade dos alunos de 13 turmas do secundário não souberam responder correctamente à pergunta da caixa 2.1, quer antes quer depois da leccionação do 10º ano, em que um dos temas principais era energia.

O significado da divisão e proporcionalidade. A este respeito é importante notar que conceitos como massa volúmica, capacidade térmica mássica, potência, velocidade, aceleração, etc. dependem de uma compreensão clara do que é uma divisão e da relação funcional entre grandezas proporcionais. Arons chamou a atenção para as dificuldades de muitos estudantes (mesmo universitários) com estas noções [2].

A representação geométrica (cartesiana) de relações de proporcionalidade directa. A questão não é conhecer a equação da recta, mas sim de passar, quase instintivamente, de uma relação de proporcionalidade, normalmente formulada em termos da famosa regra de três, para uma relação funcional entre duas grandezas e a sua representação cartesiana (e vice-versa).

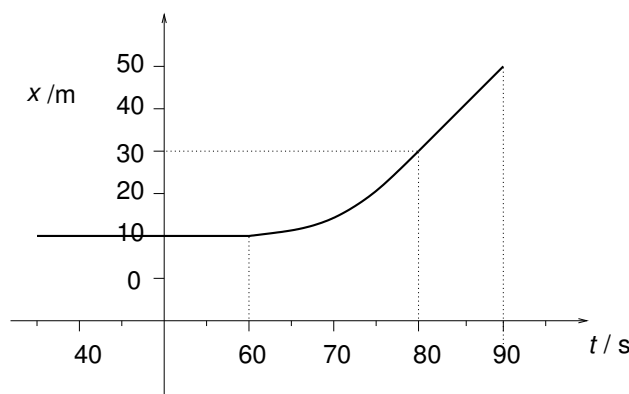


Figura 1: Qual é a representação analítica de $x(t)$?

Geometria cartesiana elementar, incluindo situações realistas de funções definidas por ramos.

O gráfico da fig. 1 representa a coordenada $x(t)$ de um automóvel, inicialmente em repouso, que acelera (aceleração constante) durante 20 segundos. A dificuldade reside em conseguir pôr em jogo os conhecimentos de geometria analítica num contexto diferente daquele em que foram ensinados, para determinar a função $x(t)$.

Geometria elementar: paralelismo, igualdade de ângulos, semelhança de triângulos.

Conhecimentos elementares de trigonometria (projecções).

Conceito operacional (numérico) de limite. Fundamental para as compreensão dos conceitos envolvendo derivação.

Álgebra elementar. Em todos os materiais do Projecto Faraday não há álgebra mais complexa que um sistema de duas equações, ou uma equação quadrática. Mas sempre que isso é feito com parâmetros não especificados (“letras”), os professores chamam a atenção para as dificuldades que isso colocará a quase todos os alunos.

De facto parece haver uma regra implícita neste jogo: a matemática que se pode fazer em Físico-Químicas tem que estar vários degraus abaixo em sofisticação da que se ensina em Matemática!

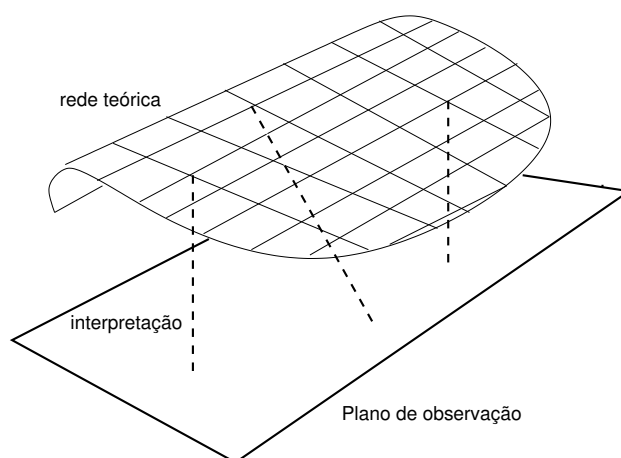


Figura 2: Teoria e observação estão ligados por interpretação. [4]

É importante salientar que estas competências estão a ser solicitadas fora do contexto normal da sua aprendizagem. Isto é, não é especialmente relevante que no teste que se seguiu ao estudo da equação da recta em geometria cartesiana os alunos tenham mostrado uma boa assimilação do conceito. É a capacidade de mobilizar essa aprendizagem noutros contextos, que constitui a marca de uma formação bem sucedida. A disciplina de Ciências Físico-Químicas representa aqui um papel fundamental na aprendizagem da Matemática, desde que a formação aí adquirida seja mobilizada sem preconceitos. Se isto não acontecer, a nossa tendência para fragmentar a avaliação conduz à precaridade dos conhecimentos: os conhecimentos adquiridos num módulo “evaporam-se” rapidamente da mente dos alunos.

3 Competências Físicas

3.1 Interação teoria-experiência

A grande riqueza formativa da Física reside na interacção permanente entre um quadro teórico quantitativo, de modelos e estruturas matemáticas, e a experiência directa ou mediada pela técnica.

A figura 2 adaptada de um excelente artigo de Alan Cromer[4], representa em planos separados estas duas realidades, ligadas por regras de interpretação.

O real desafio do ensino experimental de Física (e das Ciências em geral) reside, precisamente, na importância de manter toda esta estrutura presente na actividade

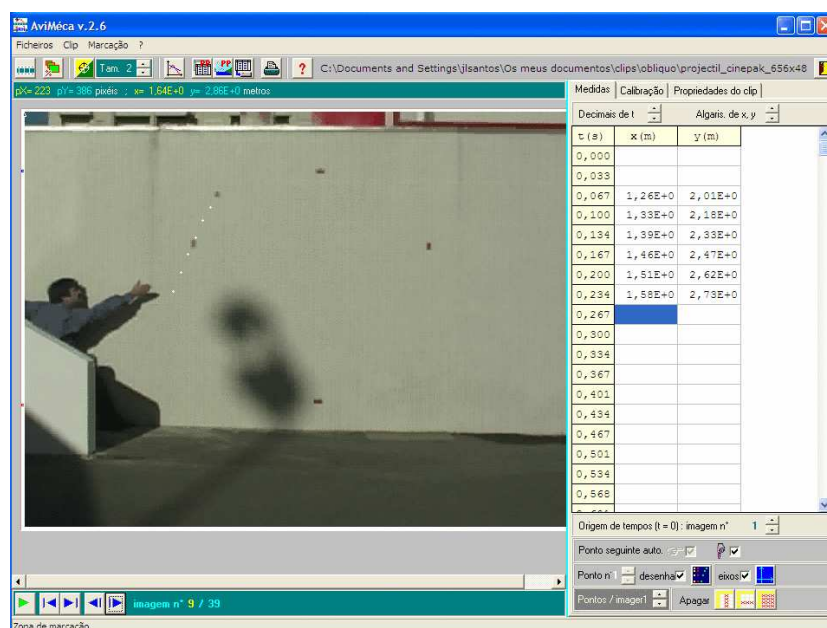


Figura 3: O movimento do projectil foi estudado com base em actividades construídas à volta dos dados adquiridos de um vídeo digital.

dos próprios alunos.

No projecto Faraday, por exemplo, adoptámos uma estratégia de ensino da cinemática e dinâmica totalmente centrado no tratamento e discussão de dados de movimentos reais, adquiridos com sensores ou com vídeo digitalizado (ver figura 3).

Por exemplo, um aspecto importante do movimento do projectil é o facto de o movimento vertical ser independente do movimento horizontal. A figura 4 mostra uma comparação entre as componentes verticais da velocidades de uma queda vertical e de uma queda de um projectil (com $v_x(0)$ e $v_y(0) \neq 0$). O facto de se tratarem de dados reais, de experiências que os alunos também realizaram, tem para nós uma importância formativa apreciável.

O desenvolvimento conceptual em interacção com dados reais de experiências, tem três objectivos:

- i) facilitar a apreensão do significado operacional dos conceitos, agilizando a sua aplicação em contextos variados;
- ii) criar oportunidades para uma vivência do processo científico de construção do conhecimento (muito mais importante do que uma aula sobre o “método científico”).

Comparação de queda vertical e movimento de projectil

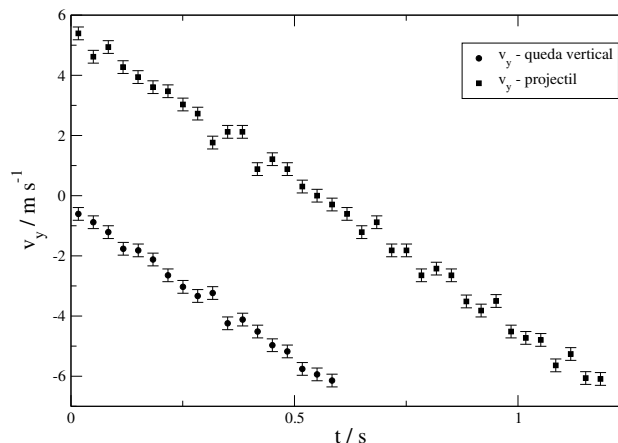


Figura 4: Coordenadas verticais da velocidade de uma esfera em queda vertical e em movimento parabólico. Dados obtidos dos clips queda_esfera_divx_650x480 e projectil_divx5_1_1650x480.

iii) integrar a visão científica da Física no modo como os alunos percebem a realidade que os rodeia.

Num questionário feitos aos alunos do projecto **90%** acharam as actividades experimentais **úteis** ou **muito úteis** (não apenas interessantes ou divertidas).

3.2 A importância do detalhe

Ninguém rejeita a importância de promover um espírito crítico. Mas como fazê-lo?

A actividade experimental, através da importância da atenção ao **detalhe**, oferece inúmeras oportunidades para promover uma maior acutilância crítica.

Todo o mundo sabe que o movimento de um carrinho num plano inclinado tem aceleração constante. Mas os dados da figura 5, obtidos com sensor de movimento, mostram acelerações muito diferentes na subida e na descida. A interpretação deste resultado conduz-nos à discussão do atrito. Cada experiência “que não dá bem” é uma oportunidade de exploração e discussão, que afina o sentido crítico. Mas sem actividade experimental, correctamente encarada, estas oportunidades não surgem. Quase nunca são previamente planeadas. As medições

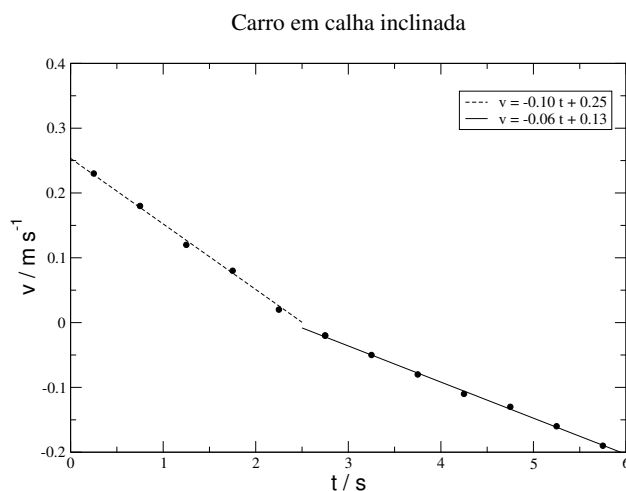


Figura 5: A aceleração do carro ao subir a calha ($v > 0$) é superior em módulo à aceleração quando desce ($v < 0$). Porquê?

precisas que tecnologias perfeitamente acessíveis nos proporcionam podem tornar a experiência mais elementar uma surpresa rica em sugestões de exploração de enorme potencial formativo. Note-se, contudo, que a preparação científica necessária para abordar o trabalho laboratorial nesta perspectiva ultrapassa largamente a capacidade de seguir um protocolo experimental; só se consegue a partir de uma actividade permanente que é, no essencial, uma prática muito semelhante à do investigador em Física.

3.3 Problemas em contexto

Se a única utilidade de um curso de Física for ensinar a resolver questões que só surgem nos cursos de Física, ninguém lhe vai sentir a falta se o curso desaparecer! Contudo, suspeito que muitos alunos, quantas vezes justificadamente, têm esta visão dos respectivos cursos.

Este aspecto é particularmente relevante para alunos para que não irão ser profissionais de Física, como a maioria dos futuros engenheiros. Por isso é importante não recuar perante problemas formulados em linguagem corrente e relativos a situações reais. Um exemplo usado no Faraday é dado na Caixa 3.1.

Este tipo de problema é muitas vezes criticado por ser ambíguo, por não explicitar todas as condições de validade dos modelos que se pretendem aplicar, de usar uma linguagem pouco precisa, etc.. Do meu ponto de vista essas são precisamente as **qualidades** deste tipo de questão. Este tipo de crítica resulta de uma cultura que se

■ Um problema sobre o quê? ■

Mentira desmascarada por um físico.

Um condutor causou um acidente ao entrar num cruzamento a 60 km h^{-1} . Disse em tribunal que estava parado no seu carro a 50 m do cruzamento e que ficou sem travões; como a rua descia, o carro embalou e ele nada pôde fazer. Um investigador da companhia de seguros foi ao local, fez uma medição e provou que o condutor estava a mentir.

1. Que medição fez o perito?
2. Que inclinação teria que ter a estrada para que o perito não pudesse tirar a conclusão que tirou?

Caixa 3.1: Um exemplo de uma problema que tenta mobilizar conhecimentos de Física num contexto real.

entrosou no sistema, em parte devido ao acesso ao ensino superior e à importância de cada centésimo de classificação no acesso aos cursos mais procurados da área de Saúde.

Na resposta ao questionário acima referido, 84% dos alunos do projecto acharam os problemas propostos difíceis ou muito difíceis e 92% úteis ou muito úteis.

3.4 Modos específicos de raciocínio

O seguinte quebra-cabeças põe em jogo um modo de raciocínio bem familiar a físicos:

Dois copos idênticos contêm igual volume de água e vinho. Transferimos uma colher cheia de água do primeiro copo para o copo de vinho e misturamos bem. Depois transferimos a mesma colher cheia da mistura para o copo com água. Há mais água no vinho ou vinho na água?

Podemos complicar indefinidamente o processo. Por exemplo, transportando duas colheres da mistura para o primeiro copo, em vez de uma só, mexendo e terminando transportando mais uma colher cheia do primeiro para o segundo copo.

Um físico, habituado a raciocinar em termos de princípios de conservação, sabe que as quantidades totais de vinho e água não mudam, por mais complexo que

seja o processo seguido. Se no fim os dois copos tiverem a mesma quantidade de líquido, o vinho que está no copo originalmente com água ocupa exactamente o mesmo volume que a água que está no copo originalmente com vinho. Mas esta percepção (*insight*) ilude-nos se nos concentrarmos nos processos em vez de nos estados inicial e final. O raciocínio termodinâmico, e os princípios de conservação em geral, promovem especialmente este modo de raciocinar.

Na Caixa 3.2 dou um exemplo de utilização de um argumento deste tipo usado numa actividade, muito simples, de determinação do calor de fusão do gelo. Devo dizer que, quando apresentado aos professores do Projecto, a apreensão do argumento não foi imediata. O objectivo desta actividade não é obter um número. Por um lado, expõem-se os alunos a um tipo de raciocínio não muito familiar; por outro, o próprio argumento ilumina o conceito de calor de fusão de um modo mais interessante que uma simples definição verbal.

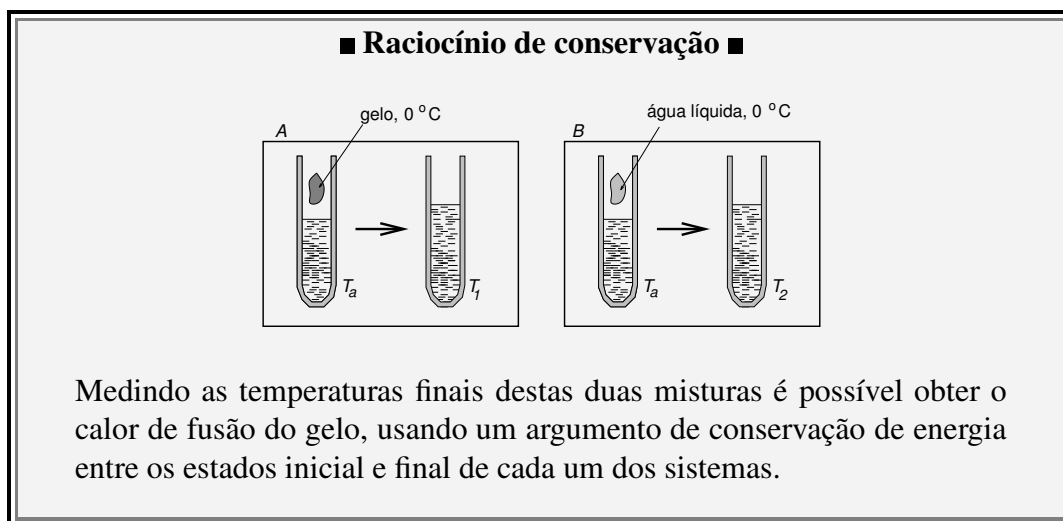
Outros modos de raciocinar, ainda que não exclusivos de Física, encontram nesta disciplina excelentes oportunidades de desenvolvimento. Ocorrem-me de momento:

- a modelização por aproximações sucessivas; quantas vezes o resultado de uma experiência está *quase* de acordo com um modelo. O modelo não é rejeitado, mas sim modificado, através da incorporação de novos efeitos (o atrito, por exemplo), que permitem compreender os **detalhes** que o modelo anterior não contemplava.
- A confrontação de situações experimentais inesperadas com expectativas prévias (as surpresas). A física é extremamente rica em situações deste tipo, particularmente (mas não só), quando as expectativas prévias envolvem modelos interpretativos pré-científicos, quantas vezes inconsistentes.

3.5 Autonomia

Numa reunião recente com os professores do Projecto Faraday, em que trocávamos impressões sobre os resultados dos questionários acima referidos, vários professores, que leccionam neste momento turmas em que só uma parte dos alunos esteve envolvida no projecto nos anos anteriores, mencionaram uma constatação que não está patente nos questionários: os alunos oriundos do projecto revelam uma muito maior autonomia e iniciativa na abordagem de dúvidas e questões.

Devo dizer que houve muitas reacções negativas da parte de alunos (algumas bem fortes) a este projecto. Não queria deixar a impressão que não houve aspectos



Caixa 3.2: Um modo de raciocínio privilegiado por uma formação em Física.

muito pouco conseguidos no desenrolar da sua actividade. Mas as dificuldades que colocámos no caminho dos alunos (porventura exagerando algumas vezes) são uma medida do respeito que temos por eles e pelas suas capacidades. Este resultado mencionado pelos professores é seguramente um dos aspectos mais positivos deste esforço e, a ser verdade, uma enorme mais valia para os seus estudos pós-secundário.

4 Currícula essenciais

Como se viu disse muito pouco sobre conteúdos concretos. A razão é simples: o que acho realmente essencial é a promoção de atitudes, comportamentos, hábitos de pensamento, como os que tenho vindo a referir. A rede de teoria da figura 2 nunca pode estar ausente de uma aprendizagem científica, seja em que nível etário for. Mas o grau de elaboração e profundidade das ligações deste rede e das regras de interpretação do plano de observação têm que respeitar o desenvolvimento próprio de cada nível etário. Isso exige uma escolha cuidada de conteúdos, certamente, mas também uma reflexão cuidada sobre o modo de os concretizar.

Num artigo publicado na Gazeta de Física em 2002 [3], Michael Athans, professor de engenharia electrotécnica do MIT, aposentado, e professor visitante, durante três anos, no Instituto Superior Técnico, comparou o ensino de engenharia do MIT com o português e lamentou uma espécie de obsessão portuguesa com o volume de matéria e de informação que tentámos passar aos nossos alunos. É uma luta

perdida. **Nunca** conseguiremos ensinar-lhes tudo que precisam de saber! Daí o meu apelo para que passemos a dar mais atenção ao modo como os formamos.

No Programa Faraday não alterámos, no essencial, o programa oficialmente aprovado para a disciplina de Ciências Físico-Químicas. A experiência do Projecto Faraday decorreu em condições de funcionamento adversas, já que, por pressão das editoras de manuais escolares, os novos currícula de várias disciplinas entraram em vigor antes da reforma curricular para os quais foram pensados, e com cargas horárias substancialmente inferiores às previstas. Somando a isso a necessidade de adaptação dos professores às propostas de actividades experimentais e às metodologias do projecto, houve dificuldades, sobretudo no 11º ano, em cobrir todos os tópicos do programa.

Seja como for, é muito cedo para fazer um juízo fundamentado sobre a eventual extensão exagerada do programa. Colocar a ênfase numa eventual revisão de um programa que este ano funciona pela primeira vez no 11º ano nas condições para que foi previsto é totalmente despropositado e contraproducente.

Os programas oficiais têm propostas interessantes: corrigem o peso exagerado que a mecânica newtoniana tem tido no ensino do secundário, promovem actividades experimentais obrigatórias (que na mente de muitos são sempre menos obrigatórias que os tópicos do programa), a integração de uma perspectiva mecânica e térmica do tópico de conservação de energia (10º ano) oferece oportunidades interessantes de exploração conceptual. Estes programas deverão, naturalmente, ser sujeitos a revisões e melhoramentos, mas apenas em função da avaliação dos resultados da sua concretização no terreno. Por outras palavras, parecem-me propostas de trabalho perfeitamente válidas.

O verdadeiro desafio de alterar a situação, tão negativa, do ensino secundário de Física, nada têm a ver com a revisão dos currícula.

A filosofia que nos moveu no projecto Faraday consiste em aproximar a vivência da disciplina de Ciências Físico-Químicas do que é uma actividade científica. A nossa experiência (dos coordenadores universitários e dos professores que leccionam as turmas do secundário) mostra que esse objectivo só é possível com uma formação **científica**, regular, permanente, dos professores do secundário.

Parece-me ser esta a tarefa que é realmente importante e que é urgente começar. Mas é uma tarefa que nunca terminará. Departamentos universitários, associações de escolas próximas, poderiam tentar constituir centros de competências, em projectos competitivos, com objectivos quantificáveis e avaliados com o mesmo tipo de metodologias que são usados na avaliação de projectos científicos. Concebo estes projectos como projectos de intervenção nas próprias escolas, não apenas como projectos de formação de professores, como o Programa Foco¹. Um papel

¹Os objectivos destes projectos deveriam dizer respeito aos alunos das escolas onde cada pro-

muito importante poderia caber a jovens doutorados; têm uma real experiência de prática científica e uma capacidade de desenvolvimento experimental que muito poderia contribuir para enriquecer a formação dos professores do secundário.

A mais longo prazo é minha convicção que o grau de exigência científica dos currícula do secundário, recomenda uma separação da Física e Química em todo o secundário. Com essa situação, só diplomados com uma licenciatura científica em uma destas disciplinas seriam elegíveis para a formação adicional de habilitação à docência. Deste modo começaríamos a injectar no sistema uma maior experiência do que é uma prática científica. Com o tempo tornar-se-ia tão estranho ensinar estas disciplinas sem recurso a uma actividade experimental regular, como ensinar Português sem ler textos.

5 Agradecimentos

O autor agradece à Fundação Calouste Gulbenkian, que financia o Projecto Faraday, a todos os colaboradores deste projecto e ao Centro de Física do Porto e Departamento de Física da Universidade do Porto, as condições para realização deste trabalho.

Referências

- [1] Projecto Faraday. URL: <http://www.fc.up.pt/faraday>.
- [2] Arnold B. Arons. *Teaching Introductory Physics*. John Wiley and Sons, Inc, 1977.
- [3] Michael Athans. Universidades Portuguesas: por que não as melhores? *Gazeta de Física*, 25:4, 2002.
- [4] Alan Cromer. *Thinking Physics for Teaching*, chapter : Physics Philosophy and Education. Plenum Press, New York, 1995.

jecto realiza a sua intervenção: quantas actividades experimentais foram efectivamente realizadas pelos alunos, quais, com que resultados, etc, etc.